

Сушка геля полиакрилонитрила при инфракрасном подводе теплоты

А. Г. Липин*, А. А. Липин^{*,1}

** Ивановский государственный химико-технологический университет,
Иваново, Россия*

Аннотация

Гидролизированный полиакрилонитрил синтезируют в виде водных растворов, представляющих собой легкоподвижные полимерные гели. Такие гели имеют недостаточно стабильные характеристики и ограниченную область применения. Полимеры, полученные в твердом виде, удобны при транспортировке, имеют высокое содержание основного вещества и обладают широким спектром потребительских свойств. Заключительной стадией производства является весьма энергоемкий процесс сушки, осложняющийся высокой адгезионной способностью гелей.

Проведены исследования кинетики процесса сушки геля гидролизованного полиакрилонитрила в условиях инфракрасного подвода теплоты. Получены кривые сушки и температурные зависимости. На основе обработки экспериментальных данных предложено уравнение для расчета парциального давления водяных паров над гелем полиакрилонитрила.

Выполнены экспериментальные исследования сушки геля полиакрилонитрила на ленточной терморadiационной сушилке лабораторного масштаба в непрерывном режиме. Для сушки в промышленном масштабе рекомендована ленточная инфракрасная сушилка со сплошной металлической лентой.

Предложена математическая модель процесса сушки геля полиакрилонитрила в ленточной терморadiационной сушилке с излучающей панелью, обогреваемой топочными газами. Математическая модель позволяет прогнозировать влагосодержание и температуру материала, температуру и влагосодержание воздуха на выходе из сушилки, а также температуру отработанных топочных газов.

Ключевые слова

Сушка, моделирование, полимерный гель, терморadiационная сушилка, кинетика сушки

Введение

Водорастворимые полимеры применяются во многих областях техники и технологии. Наибольшее практическое применение находят водорастворимые производные

целлюлозы (метилцеллюлоза, этилцеллюлоза, сульфаты целлюлозы и др.), поливиниловый спирт, полимеры и сополимеры акриловой и метакриловой кислот и окиси этилена [1, 2]. Они используются как

¹ Для переписки:

Email: lipin.a@mail.ru

высокоэффективные коагулянты и флокулянты, для стабилизации эмульсий и суспензий, в качестве защитных коллоидов, структурообразователей почв, загустителей, пленкообразователей, диспергаторов, стабилизаторов буровых растворов, агентов, снижающих гидравлическое сопротивление при течении жидкостей по трубопроводам и др. [3].

Понизители водоотдачи буровых растворов стабилизируют дисперсную систему, снижают проницаемость фильтрационной корки и, в зависимости от состава, могут влиять на реологические свойства бурового раствора. К ним относятся: карбоксиметилцеллюлоза, модифицированный крахмал, полиакриламид, гидролизированный полиакрилонитрил (гипан) и др. [4, 5].

Гипан синтезируют в виде 10–15%-х водных растворов, представляющих собой легкоподвижные полимерные гели. Такие гели имеют недостаточно стабильные характеристики и ограниченную область применения. Они неэкономичны при транспортировке и неудобны при приготовлении рабочих растворов. Полимеры, полученные в твердом виде, имеют преимущества перед гелями. Они удобны при транспортировке, имеют высокое содержание основного вещества и обладают широким спектром потребительских свойств. Заключительной стадией производства является весьма энергоемкий процесс сушки, осложняющийся высокой адгезионной способностью гелей, и условием сохранения всех ценных свойств целевого продукта [6].

В промышленности в основном используют конвективный способ сушки. Однако данный способ не позволяет достигать высокой интенсивности сушки, а при повышении температуры сушильного агента приводит к деструкции материала и потере его потребительских качеств.

Одним из перспективных методов интенсификации процесса термообработки коллоидных влажных материалов является использование радиационного энергоподвода при помощи инфракрасных излучателей [7–10]. Основное достоинство радиационной сушки по сравнению с конвективной — возможность получения больших тепловых потоков. Большой тепловой поток вызывает возникновение больших температурных градиентов в материале, что не всегда допустимо по его свойствам. Поэтому задача определения рациональных способов и режимов сушки водорастворимых полимеров с учетом их свойств и особенностей является актуальной.

Данная работа включает в себя экспериментальные и теоретические исследования процесса обезвоживания полимерного геля гидролизованного полиакрилонитрила, которые проводятся с целью получения в сухой выпускной форме бурового реагента — понизителя водоотдачи бурового раствора.

Поскольку исходный продукт имеет высокое влагосодержание целесообразно рассмотреть возможность применения сушки с инфракрасным подводом теплоты, так как ИК-излучение позволяет обеспечить высокие значения удельного теплового потока.

Экспериментальные исследования

На лабораторной установке проведены исследования кинетики процесса сушки геля гипана в условиях инфракрасного подвода теплоты. Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. В металлическую кювету площадью 15 см² помещались образцы геля гипана. Толщина слоя геля регулировалась изменением массы навески. Кюветы устанавливались на электронные весы с использованием подставки. Для защиты весов от неблагоприятного воздействия ИК-излучения использовался теплозащитный экран. Отсчет

времени процесса сушки начинался с момента включения электрического излучателя. Через определенные промежутки времени фиксировалась масса образца. Температура геля измерялась бесконтактным способом с помощью ИК-термометра АК ИП-9302. Процесс сушки проводился до достижения постоянного веса образца.

На рисунке 1 приведены кривые сушки (1, 3) и температурные кривые (2, 4) для тонкого слоя геля гипана в условиях инфракрасного подвода теплоты. Плотность потока инфракрасного излучения составила 12000 Вт/м^2 . Вид данных кривых показывает, что основное количество влаги (до 90 %) удаляется в период постоянной скорости сушки, когда скорость удаления влаги лимитируется интенсивностью подвода теплоты. Время сушки образцов составляло 8–10 мин., в зависимости от толщины слоя геля.

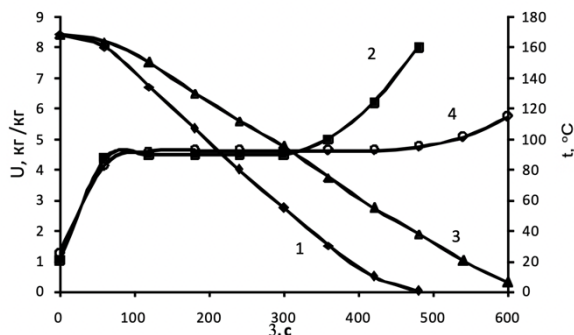


Рисунок 1 — Зависимости влагосодержания (1, 3) и температуры (2, 4) от времени процесса сушки. Толщина слоя геля, м: 1, 2 — $1.4 \cdot 10^{-3}$, 3, 4 — $2.1 \cdot 10^{-3}$

Кроме того, в тех же условиях были проведены опыты по испарению воды. Совместная обработка результатов экспериментов позволила получить значения коэффициента массоотдачи и зависимость парциального давления водяных паров над гелем полимера от температуры и влагосодержания. Эти величины необходимо знать при проведении расчета процесса сушки.

Обработка экспериментальных данных по зависимости убыли массы навески воды от времени позволила рассчитать значение коэффициента массоотдачи в условиях естественной конвекции и инфракрасного подвода теплоты $\beta_p = 3,9 \cdot 10^{-7} \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па)}$. Расчет коэффициента массоотдачи проводился по формуле:

$$\beta_p = \frac{i_b}{(P_{\text{нас}}(t_{\text{исп}}) - P_r) \cdot F}, \quad (1)$$

где F — площадь поверхности испарения, численно равная площади кюветы; i_b — массовый поток испаряемой воды.

Движущая сила процесса в формуле (1) выражена как разность парциальных давлений насыщенных паров воды при температуре испарения и водяных паров в окружающем воздухе.

Давление водяных паров над раствором полимера ниже, чем над водой, и может быть представлено зависимостью:

$$P_m = P_{\text{нас}}(t_m) \cdot \psi(U). \quad (2)$$

Входящий в эту формулу поправочный коэффициент $\psi(U)$, зависящий от влагосодержания геля, был определен путем обработки опытных данных по сушке геля. Значение коэффициента определялось по уравнению:

$$\psi = (W / (\beta_p \cdot F) + P_r) / P_{\text{нас}}, \quad (3)$$

где W — массовый поток испаряющейся из геля воды, кг/с.

$$W = \frac{\Delta m_{\text{геля}}}{\Delta \tau} = \frac{m_1 - m_2}{\tau_2 - \tau_1}, \quad (4)$$

где m_1, m_2 — масса навески геля в момент времени τ_1, τ_2 , соответственно.

Весь временной интервал процесса сушки геля разбивался на временные шаги $\Delta \tau$, для каждого из которых рассчитывался массовый поток испаряющейся из геля воды. Далее по формуле (3) рассчитывалось значение коэффициента $\psi(U)$. В графической форме полученные результаты представлены на рисунке 2.

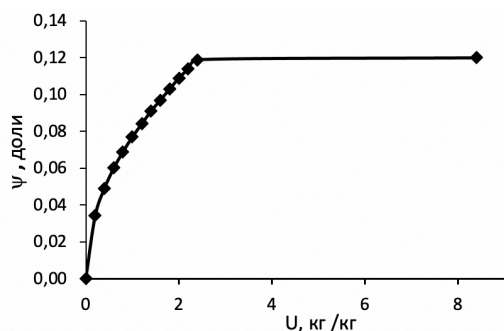


Рисунок 2 — Зависимость поправочного коэффициента от влагосодержания U

Математическая обработка полученных данных позволила рекомендовать следующие формулы для расчета поправочного коэффициента:

$$y = 0.12 \text{ при } U \geq 2.4, \quad (5)$$

$$y = 0.077U^{0.5} \text{ при } U < 2.4. \quad (6)$$

Реализация непрерывного процесса терморрадиационной сушки гипана проводилась на лабораторной установке, схема которой приведена на рисунке 3.

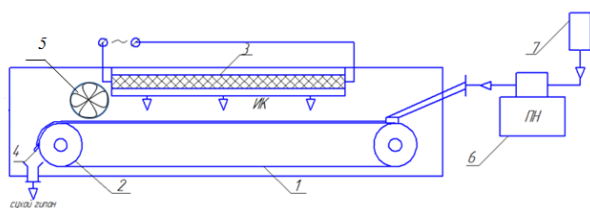


Рисунок 3 — Схема лабораторной установки: 1 — металлическая лента; 2 — привод (электродвигатель); 3 — электрический излучатель; 4 — нож; 5 — вентилятор; 6 — перистальтический насос; 7 — емкость с гелем

Гель гипана равномерно дозировался на медленно движущуюся поверхность металлической ленты с помощью перистальтического насоса. Расход геля регулировался скоростью подачи и диаметром капилляра. Скорость движения регулировалась напряжением на клеммах электродвигателя. Мощным источником ИК-излучения являлся электрический излучатель. Для предотвращения перегрева в конце зоны сушки продукт обдувался холодным воздухом с помощью вентилятора.

На рисунке 4 представлены графики изменения относительной влажности геля по длине сушильной камеры лабораторной установки. Указана безразмерная координата $Y=y/L$. Средняя плотность потока инфракрасного излучения составила 10200 Вт/м^2 . Толщина слоя геля $2.2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Влажность материала на выходе из сушилки составила 1, 4, 8 % при скоростях движения ленты 2.9; 3.1; 3.24 см/мин. Требование по максимально допустимой влажности для данного продукта 5%. Температура материала на выходе из сушильной камеры не превышала $140 \text{ }^\circ\text{C}$, что допустимо для данного полимера.

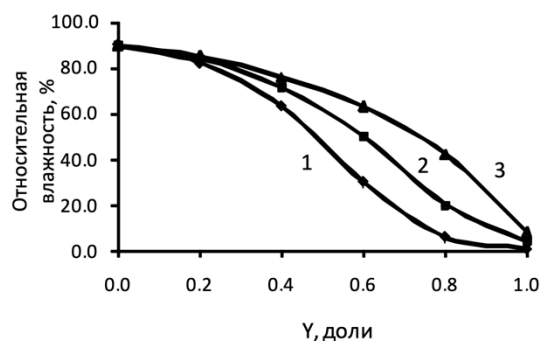


Рисунок 4 — Изменение относительной влажности по длине сушилки. Скорость движения ленты, см/мин: 1 — 2.9; 2 — 3.1; 3 — 3.24

В промышленной сушилке в качестве источника ИК излучения целесообразно применить панели с газовым обогревом. На рисунке 5 приведена схема такого аппарата. Сушилка, которая работает следующим образом: гель гипана распределяется по поверхности медленно движущейся металлической ленты 1. Природный газ и горячий воздух поступают в топку 4. Продукты сгорания (высокотемпературные газы) направляются на обогрев излучающей поверхности 6. В результате поверхность панели становится мощным источником ИК-излучения.

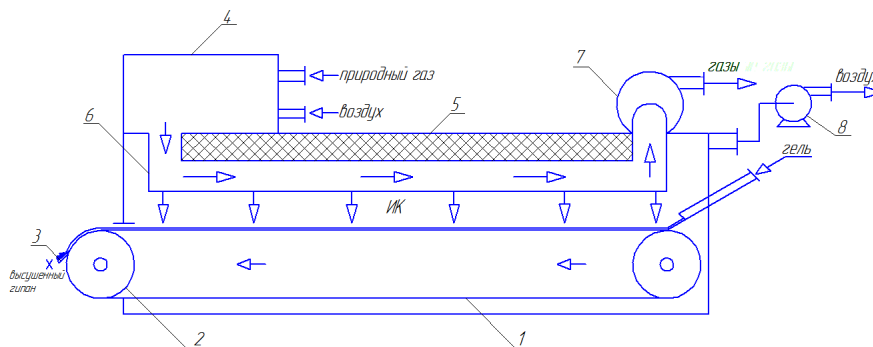


Рисунок 5 — Схема ленточной терморрадиационной сушилки:

1 — металлическая лента; 2 — приводной барабан; 3 — нож; 4 — топка с камерой сгорания; 5 — теплоизоляционный слой; 6 — излучающая панель; 7 — дымосос; 8 — вентилятор.

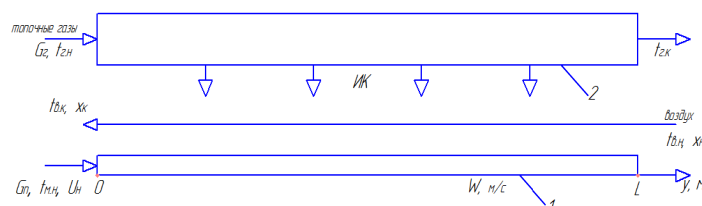


Рисунок 6 — Расчетная схема: 1 — слой материала, 2 — излучающая панель

Сухой полимер удаляется с ленты с помощью ножа 3. Для предотвращения перегрева продукта подается холодный воздух, который движется навстречу потоку геля и удаляется из зоны сушки с помощью вентилятора 8. Для удаления отработанных топочных газов предусмотрен дымосос 7.

Математическое моделирование процесса сушки

В процессе инфракрасной сушки продукт подвергается воздействию ИК-излучения высокой плотности, что может привести к его перегреву и снижению

качественных показателей. Поэтому прогнозирование профиля температуры материала по длине сушилки является актуальной задачей. На рисунке 6 представлена расчетная схема установки.

При газовом обогреве температура излучателя изменяется по длине сушилки. Расчет изменения температуры излучающей панели $T_{и}$, топочных газов $t_{г}$, влагосодержания U и температуры $t_{м}$ высушиваемого материала, температуры $t_{с}$ и влагосодержания воздуха x по длине y сушильной камеры осуществляется путем решения системы уравнений (7)–(13).

$$\alpha_{г}(T_{г} - T_{и}) = c_{12}[(T_{и}/100)^4 - (T_{м}/100)^4], \quad (7)$$

$$d t_{г}/d y = -\alpha_{г} B(t_{г} - t_{и})/(G_{г}c_{г}), \quad (8)$$

$$\frac{d t_{м}}{d y} = \frac{c_{12}[(T_{и}/100)^4 - (T_{м}/100)^4] B + r^* \frac{d U}{d y} G_{п} + \alpha_{с}(t_{с} - t_{м}) B}{G_{п}(c_{п} + c_{в}U)}, \quad (9)$$

$$d U/d y = \beta_{п} B(p_{м} - p_{с})/G_{п}, \quad (10)$$

$$d t_{с}/d y = [\alpha_{с}(t_{с} - t_{и}) + \alpha_{с}(t_{с} - t_{м})] \cdot B/(G_{в}c_{в}), \quad (11)$$

$$d x/d y = \beta_{п}(p_{м} - p_{с}) \cdot B/G_{в}, \quad (12)$$

$$p_{м} = p_{нас}(t_{м}) \cdot \psi(U). \quad (13)$$

В этих уравнениях: α_g, α_c — коэффициенты теплоотдачи от топочных газов к излучающей панели и от материала к воздуху в сушильной камере; c_{12} — коэффициент взаимоиизлучения; B — ширина ленты; c_g, c_b, c_n — теплоёмкости, соответственно, топочных газов, воды и сухого полимера; r^* — теплота парообразования; G_n — массовый расход полимера; G_g — расход топочных газов; t_c — температура воздуха в сушильной камере; p_m, p_c — парциальное давление паров воды над поверхностью слоя геля и в воздухе; β_p — коэффициент массоотдачи; $p_{нас}$ — давление насыщенных паров воды; $\psi(U)$ — эмпирический коэффициент, учитывающий снижение парциального давления водяных паров при уменьшении влагосодержания.

Краевые условия для уравнений:

при $y = 0$ $t_g = t_{gn}, t_m = t_{mn}, U = U_n$;

при $y = L$ $t_c = t_{cn}, x = x_n$.

Движущая сила процесса сушки здесь выражена как разность парциальных давлений водяных паров над материалом и в окружающем воздухе.

Парциальное давление водяных паров над материалом можно рассчитать как произведение давления насыщенных паров воды при температуре испарения на поправочный коэффициент (уравнение 13).

Давление насыщенных паров воды определяется по формуле:

$$P_{нас} = 617 \cdot \exp(17,25 \cdot t_m / (t_m + 238)). \quad (14)$$

Парциальное давление водяных паров в воздухе, находящемся в сушильной камере, рассчитывается по уравнению:

$$P_c = P_{атм} \cdot x_c / (0,622 + x_c). \quad (15)$$

Решение системы уравнений математического описания процесса сушки осуществлялось численным методом. Поскольку начальные параметры высушиваемого материала и воздуха известны на противоположных сторонах сушильной

камеры, задавалось некоторое оценочное значение температуры воздуха на выходе из аппарата: $t_g = t_{g,k}$ при $y = 0$. В итоге прогнозируются влагосодержание и температура материала на выходе из сушилки и температура и влагосодержание воздуха на входе в аппарат. Проверяется соответствие заданного $t_{g,n}$ и рассчитанного $t_g(L)$ значений начальной температуры воздуха. Если $|t_{g,n} - t_g(L)| > \varepsilon$, где ε — заданная погрешность вычислений, то изменяется принятое значение температуры воздуха на выходе из аппарата и вычисления повторяются. В противном случае расчет заканчивается. Для уточнения значения $t_{g,k}$ используется метод половинного деления. Конечное влагосодержание воздуха на каждой итерации определяется из соотношения материального баланса по испаренной влаге.

Результаты

На рисунках 7, 8 приведены расчетные графики изменения температуры высушиваемого геля, излучающей панели, топочных газов и влагосодержания материала.

Анализ показывает, что температура материала не превышает 114 °С, что ниже границы начала деструктивных изменений. При начальной температуре топочных газов 800, 850 и 900 °С достигается конечное влагосодержание материала, соответственно, 40, 4.3 и 1.1 %.

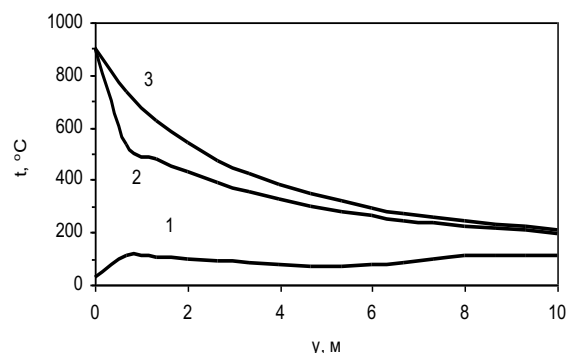


Рисунок 7 — Температурные профили:
1 — материала, 2 — излучателя,
3 — топочных газов. Начальная температура топочных газов 900 °С

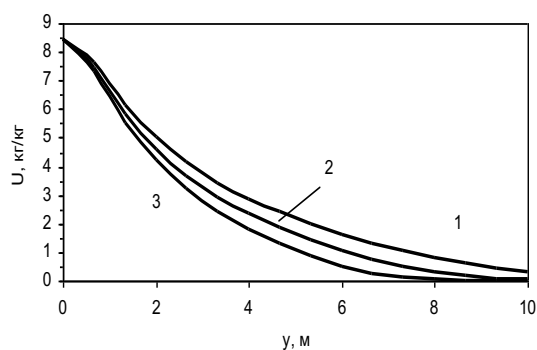


Рисунок 8 — Профили влагосодержания. Начальная температура топочных газов, °C: 1 — 800; 2 — 850; 3 — 900

Заключение

Проведены экспериментальные исследования сушки геля гипана на твердых подложках и на ленточной терморadiационной сушилке. Получены данные по кинетике сушки геля гипана. Установлено, что основное количество влаги (до 90 %) удаляется в периоды прогрева и постоянной скорости сушки, когда скорость удаления влаги лимитируется интенсивностью подвода теплоты.

Получена зависимость поправочного коэффициента, учитывающего понижение давления водяных паров над поверхностью геля гипана от влагосодержания геля.

Для сушки геля гипана можно рекомендовать ленточную инфракрасную сушилку со сплошной металлической лентой. В качестве источника ИК излучения целесообразно применить панели с газовым обогревом.

Предложена математическая модель процесса сушки геля гипана в ленточной терморadiационной сушилке с излучающей панелью, обогреваемой топочными газами. Математическая модель позволяет прогнозировать влагосодержание и температуру материала, температуру и влагосодержание воздуха на выходе из сушилки, а также температуру отработанных топочных газов. Математическая модель может быть использована для выбора рациональных значений основных параметров

процесса: производительности по полимеру, температуры и расхода топочных газов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Николаев А. Ф., Охрименко Г. И. Водорастворимые полимеры. Л.: Химия, 1979.
- [2]. Куренков В. Ф. Водорастворимые полимеры акриламида. *Соросовский образовательный журнал*, 1997, № 5, с. 48–53.
- [3]. Говарикер В. Р., Висванатхан Н. В., Шридхар Дж. Полимеры. М.: Наука, 1990.
- [4]. Novoskoltseva O. A., Loiko N. G., Nikolaev Y. A., et al. Interpolyelectrolyte complexes based on hydrolyzed polyacrylonitrile for anti-erosion stabilization of soils and ground. *Polymer International*, 2022, vol. 71, no. 6, pp. 697–705. DOI:10.1002/pi.6289.
- [5]. Фарвазов Н. Р., Конесев Г. В. Преимущества использования полимерных буровых растворов на основе гипана для вскрытия продуктивных пластов. *Вестник науки*, 2019, Т. 3, № 6(15), с. 462–466.
- [6]. Абрамова Л. И., Байбурдов Т. А., Григорян Э. П. Полиакриламид. М.: Химия, 1992.
- [7]. Зайцев Д. Б., Тимонин А. С. Использование инфракрасного энергоподвода в процессе сушки полиакриламидного геля. *Безопасность труда в промышленности*, 2009, № 9, с. 46–51.
- [8]. Лебедев В. В., Липин А. Г., Кириллов Д. В. Сушка полимерного геля, сопровождающаяся усадкой материала. *Известия ВУЗов. Химия и химическая технология*, 2009, Т. 52, № 12, с. 102–105.

[9]. Лебедев В. В., Липин А. Г., Кириллов Д. В. Моделирование процесса сушки водорастворимого полимера в терморadiационной сушилке. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*, 2010, № 1, с. 57–62.

[10]. Kent R. Energy Management in Plastics Processing: Strategies, Targets, Techniques, and Tools, Third Edition, Elsevier, 2018.

DOI: 10.1016/C2017-0-02035-9.

Липин Александр Геннадьевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой процессов и аппаратов химической технологии, Ивановский государственный химико-технологический университет (Российская Федерация, 153000, Иваново, Шереметевский пр., д. 7).

Липин Андрей Александрович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры процессов и аппаратов химической технологии, Ивановский государственный химико-технологический университет (Российская Федерация, 153000, Иваново, Шереметевский пр., д. 7).

Infrared drying of polyacrylonitrile gel

A. G. Lipin*, A. A. Lipin*,¹

* *Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Ivanovo, Russia*

Abstract

Hydrolyzed polyacrylonitrile is synthesized in the form of an aqueous solution, which are easily movable polymer gels. Such gels have insufficiently stable characteristics and limited application area. Polymers produced in a solid form are easy to transport, have a high content of the main substance and have a wide range of consumer properties. Thus, the final stage of the polymer production is a very energy-intensive drying process, complicated by the high adhesive capacity of gels.

The kinetics of the infrared drying of hydrolyzed polyacrylonitrile gel was studied. Drying curves and temperature dependences were obtained. Based on the processing of experimental data the equation for calculating the partial pressure of water vapor over the polyacrylonitrile gel was proposed.

Experimental studies of polyacrylonitrile gel drying on a laboratory-scale infrared belt dryer, which operates in a continuous mode, were performed. An infrared belt dryer with a continuous metal belt was recommended as industrial scale dryer.

A mathematical model of the polyacrylonitrile gel drying in an infrared belt dryer with a radiant panel heated by flue gases was proposed. The mathematical model enables to predict the moisture content and temperature of the material, the temperature and moisture content of the air at the outlet from the dryer as well as the temperature of the flue gases.

Keywords

Drying, modelling, polymeric gel, infrared dryer, drying kinetics.

REFERENCES

- [1]. Nikolaev A. F., Ohrimenko G. I. Vodorastvorimye polimery [Water-soluble polymers]. Leningrad, Khimija Publ., 1979. (In Russ.)
- [2]. Kurenkov V. F. Vodorastvorimye polimery akrilamida [Water-soluble polymers of acrylamide]. *Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal [Soros Educational Journal]*, 1997, no. 5, pp. 48–53. (In Russ.)
- [3]. Govariker V.R., Visvanathan N.V., Shridhar Dzh. Polimery [Polymers]. Moscow, Nauka Publ., 1990. (In Russ.)
- [4]. Novoskoltseva O. A., Loiko N. G., Nikolaev Y. A., et al. Interpolyelectrolyte complexes based on hydrolyzed polyacrylonitrile for anti-erosion stabilization of soils and ground. *Polymer International*, 2022, vol. 71, no. 6, pp. 697–705. DOI: 10.1002/pi.6289.
- [5]. Farvazov N. R., Konesev G. V. Preimushhestva ispol'zovaniya polimernyh

¹ *Corresponding author:*
Email: lipin.a@mail.ru

burovyh rastvorov na osnove gipana dlja vskrytija produktivnyh plastov [Advantages of using hypane-based polymer drilling muds to uncover productive formations]. *Vestnik nauki* [Science Bulletin], 2019, vol. 3, no. 6(15), pp. 462–466. (In Russ.)

[6]. Abramova L. I., Bajburdov T. A., Grigorjan Je. P. Poliakrilamid [Polyacrylamide]. Moscow, Khimija, 1992. (In Russ.)

[7]. Zajcev D. B., Timonin A. S. Ispol'zovanie infrakrasnogo jenerGOPodvoda v processe sushki poliakrilamidnogo gelja [Using infrared energy supply in the drying of polyacrylamide gel]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* [Labor safety in industry], 2009, no. 9, pp. 46–51. (In Russ.)

[8]. Lebedev V. V., Lipin A. G., Kirilov D. V. Sushka polimernogo gelja, soprovzhdaJushhajasja usadkoj materiala

[Drying of polymeric gel that accompanied by material shrinkage]. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol*, 2009, vol. 52, no. 12, pp. 102–105. (In Russ.)

[9]. Lebedev V. V., Lipin A. G., Kirilov D. V. Modelirovanie processa sushki vodorastvorimogo polimera v termoradiacionoj sushilke [Modeling of water-soluble polymer drying in a thermo-radiation dryer]. *Sovremennye naukoemkie tehnologii. Regional'noe prilozhenie* [Modern knowledge-based technologies. Regional application], 2010, no. 1, pp. 57–62. (In Russ.)

[10]. Kent R. Energy Management in Plastics Processing: Strategies, Targets, Techniques, and Tools, Third Edition, Elsevier, 2018. DOI: 10.1016/C2017-0-02035-9.

Lipin A. G. — Dr. Sc. (Eng.), Head of the Department of Processes and Devices of Chemical Technology, Ivanovo State University of Chemistry and Technology (Sheremetevskiy av., 7, Ivanovo, 153000, Russian Federation).

Lipin A. A. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Processes and Devices of Chemical Technology, Ivanovo State University of Chemistry and Technology (Sheremetevskiy av., 7, Ivanovo, 153000, Russian Federation).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Сушка геля полиакрилонитрила при инфракрасном подводе теплоты / А. Г. Липин, А. А. Липин // Промышленные процессы и технологии. 2023. Т. 3. № 1(8). С. 39 – 48.

DOI: 10.37816/2713-0789-2023-3-1(8)-39-48

Please cite this article as:

Lipin A. G., Lipin A. A. Infrared drying of polyacrylonitrile gel. *Industrial processes and Technologies*, 2023, vol. 3, no. 1(8), pp. 39 – 48.

DOI: 10.37816/2713-0789-2023-3-1(8)-39-48